

# Integration erneuerbarer Energien in europäischen Langfristszenarien

Wie Szenario- und Methodenwahl den Speicherbedarf beeinflussen

**Strommarkttreffen Berlin**

TU Berlin, 08. Januar 2016

Dipl. Wi.-Ing. Felix Cebulla

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technikbewertung



Wissen für Morgen



# Agenda

- I. Motivation und Ziel
  - a. Forschungsfrage
- II. Methodik
  - a. Energiesystemmodell REMix
  - b. Szenario- und Modellannahmen
- III. Ergebnisse
  - a. Referenzszenario 2050
  - b. Szenarienvergleich
- IV. Zusammenfassung und Ausblick



# Forschungsfrage

## Speicherbedarf in Langfristszenarien

### Unsicherheit zukünftiger Stromspeicherbedarf

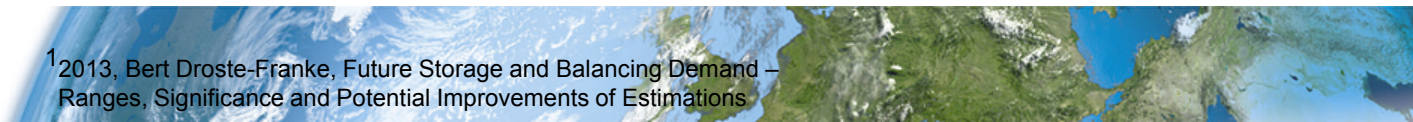
- Integration hoher Anteile erneuerbarer Energien (EE): Studien resultieren in großen Bandbreiten bzgl. Lade-/Entladeleistung & Speicherkapazität
- Beispiel Deutschland (100% EE-Anteil)<sup>1</sup>  $\approx$  20-94GW, 15-140TWh
- Beispiel Europa (100% EE-Anteil)<sup>1</sup>  $\approx$  500-900GW, 80-400TWh

### Unterschiede bei Daten und Methoden signifikant

- Techno-ökonomische Eingangsparameter (Investitions- und Betriebskosten, Wirkungsgrade, Lebensdauer, ...)
- Technischer, räumlicher und zeitlicher Detaillierungsgrad
- Modellierung (innerhalb von Optimierungsansätzen: LP/MILP, Stützjahre, myopisch, Pfadoptimierung, Stochastik)

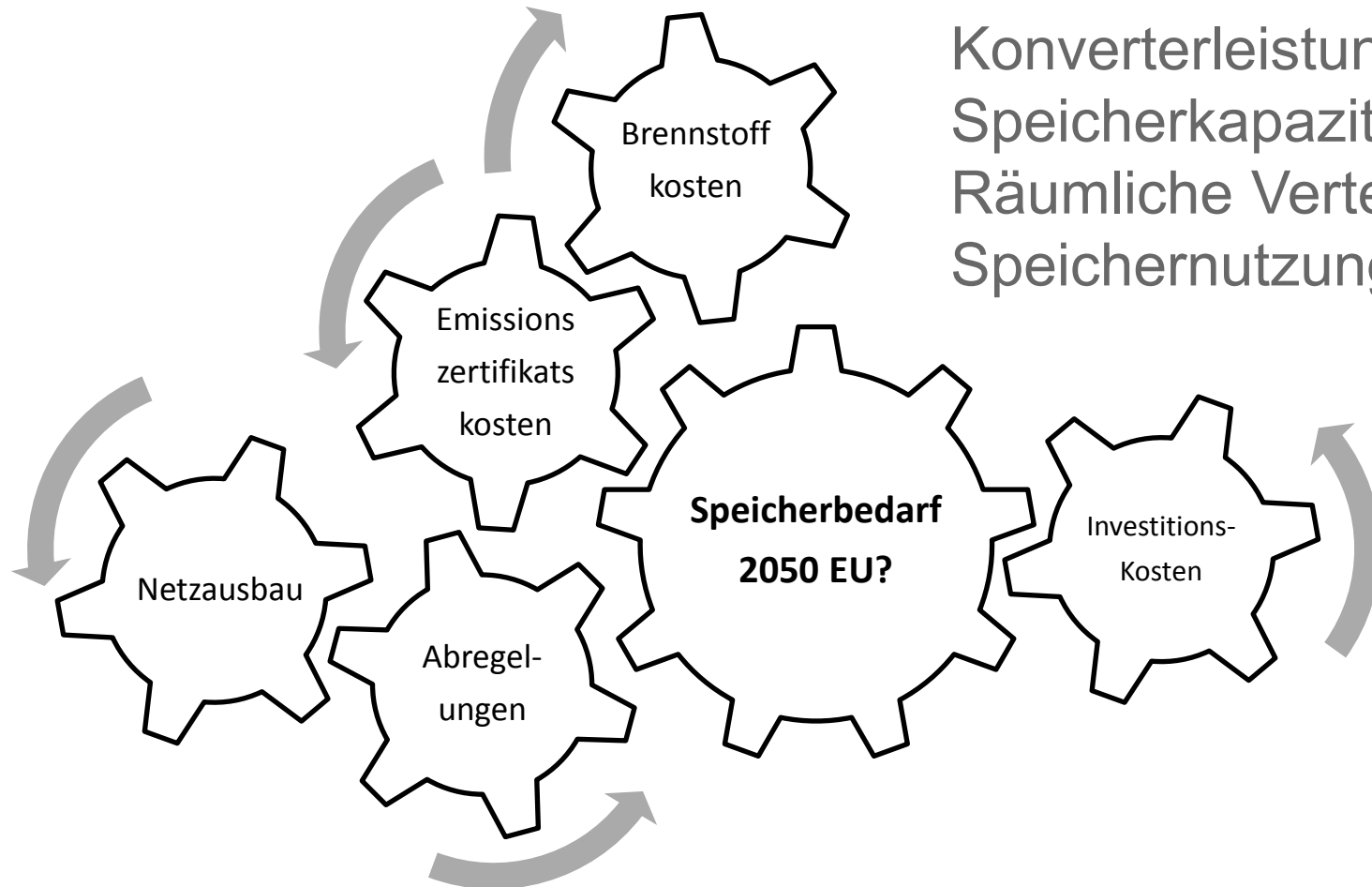
### Transparenz/Reproduzierbarkeit der Ergebnisse, Methodik und Daten schwierig

- Vergleichbarkeit der Ergebnisse zum Speicherbedarf nur eingeschränkt möglich und innerhalb des jeweiligen Annahmenkonstruktes belastbar!



# Forschungsfrage

## Speicherbedarf in Langfristszenarien



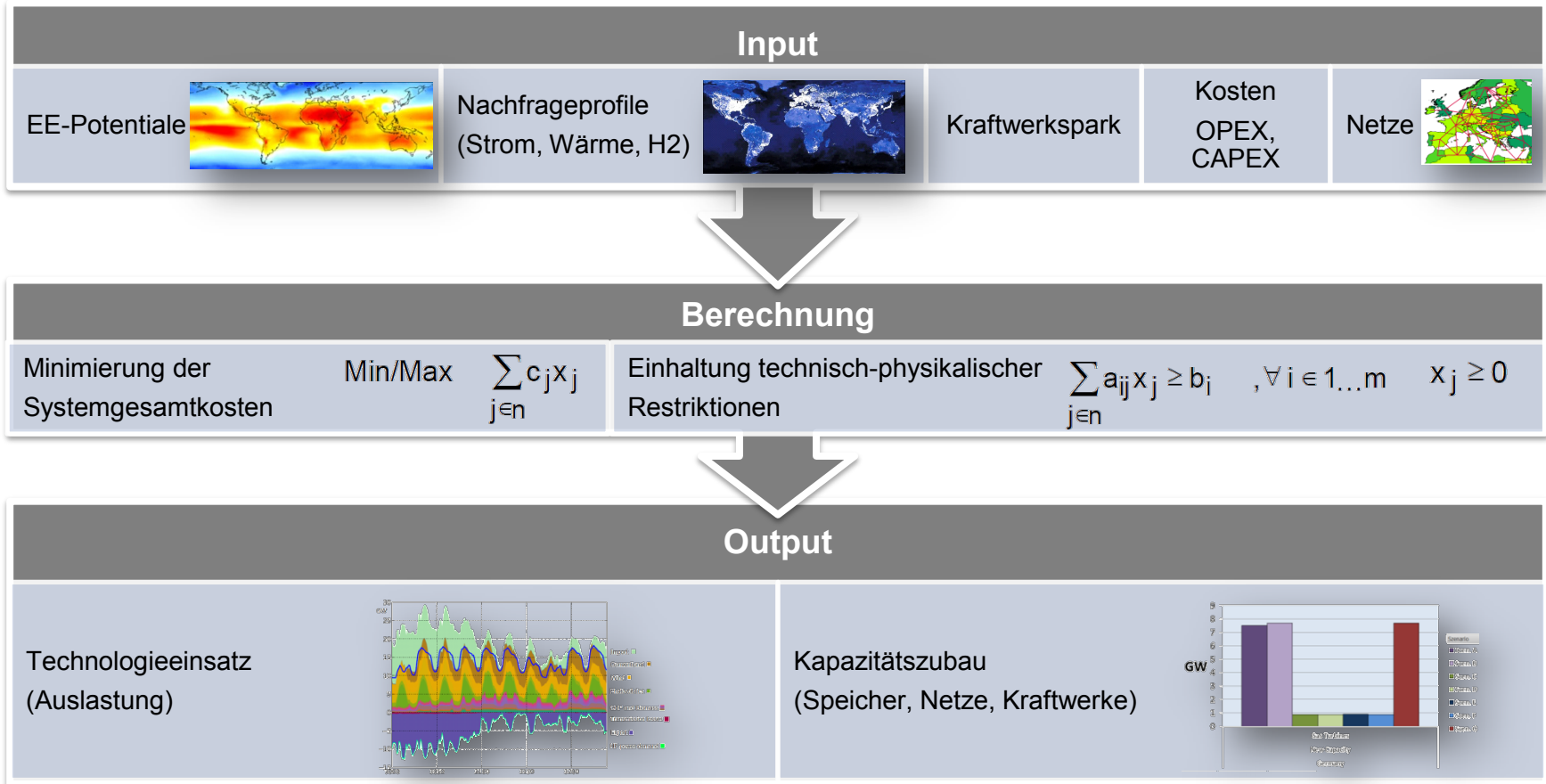
# METHODIK

Modell, Annahmen und betrachtete Szenarien



# Modell

## Renewable Energy Mix for Sustainable Energy Supply (REMix)





# Annahmen

## Speicher

Wasserstoffspeicher  
Lithium-Ionen (stationär)  
Pumpspeicher  
Blei-Säure-Batterien  
Druckluftspeicher (adiabat)  
Redox-Flow-Batterien



## Modellierung

- Lade- und Entladewirkungsgrad
- Selbstentladungsrate
- Verfügbarkeit
- Invest.-Kosten Speicher/Konverter
- Lebensdauer Speicher/Konverter
- Betriebs- & Wartungskosten (fix/var.)

## Szenario

- H<sub>2</sub>-Speicherung in Salzkavernen & anschließende Rückverstromung
- Modellendogener Zubau in allen Szenarien inkl. Zubauoberlimits für H<sub>2</sub>-, Druckluft- und Pumpspeicher

## Erneuerbare Erzeugung

Wind on/offshore  
Photovoltaik  
Biomasse  
Solartherm. KW  
Laufwasserkraft  
Speicherwasserkraft



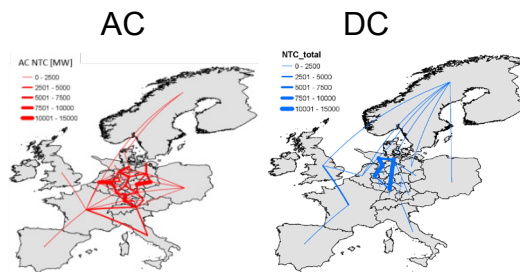
## Modellierung

- Wirkungsgrade
- Investitionskosten
- Verfügbarkeit
- Lebensdauer
- Betriebs- & Wartungskosten (fix/var.)

## Szenario

- Endogener Zubau aller Kapazitäten
- Knotenscharfe Zubaugrenzen basierend auf Potenzialanalyse
- Prämisse: Bruttostromerzeugung aus EE mindestens 80%
- Abregelung für fluktuierende EEs nicht kostengebunden

## Übertragungsnetz



## Modellierung

- DC Approximation des Drehstrom-übertragungsnetzes
- HVDC Übertragungsleitungen
- Investitionskosten
- Nettoübertragungsleistung (NTC)
- Übertragungsverluste

## Szenario

- TYNDP modifiziert als Startnetz
- Endogener Netzzubau der bestehenden Leitungen in den Szenarien G+
- Restliche Szenarien: exogenes Netz

# REFERENZSZENARIO 2050

Speicherzubau und -Nutzung





# Zubau der Kapazitäten (EE + Konventionelle)

s.t. EE-Erzeugung  $\geq 80\%$

W\_off: 460 GW

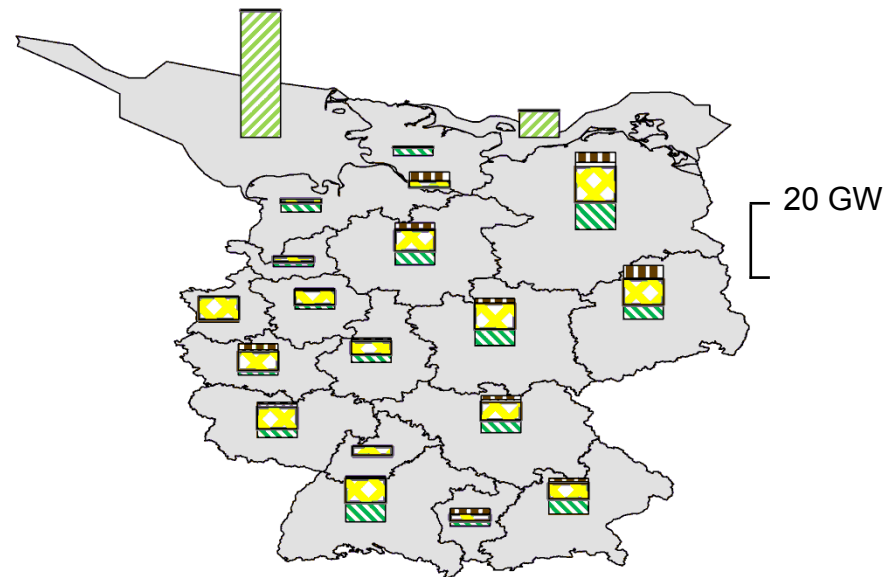
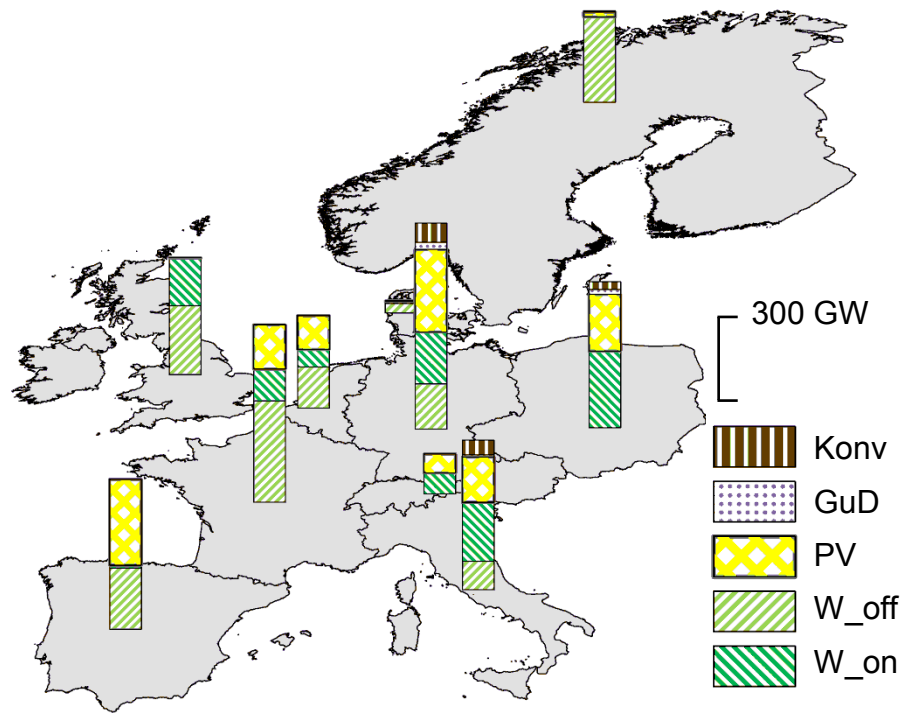
W\_on: 330 GW

PV: 390 GW

W\_off: 50 GW

W\_on: 60 GW

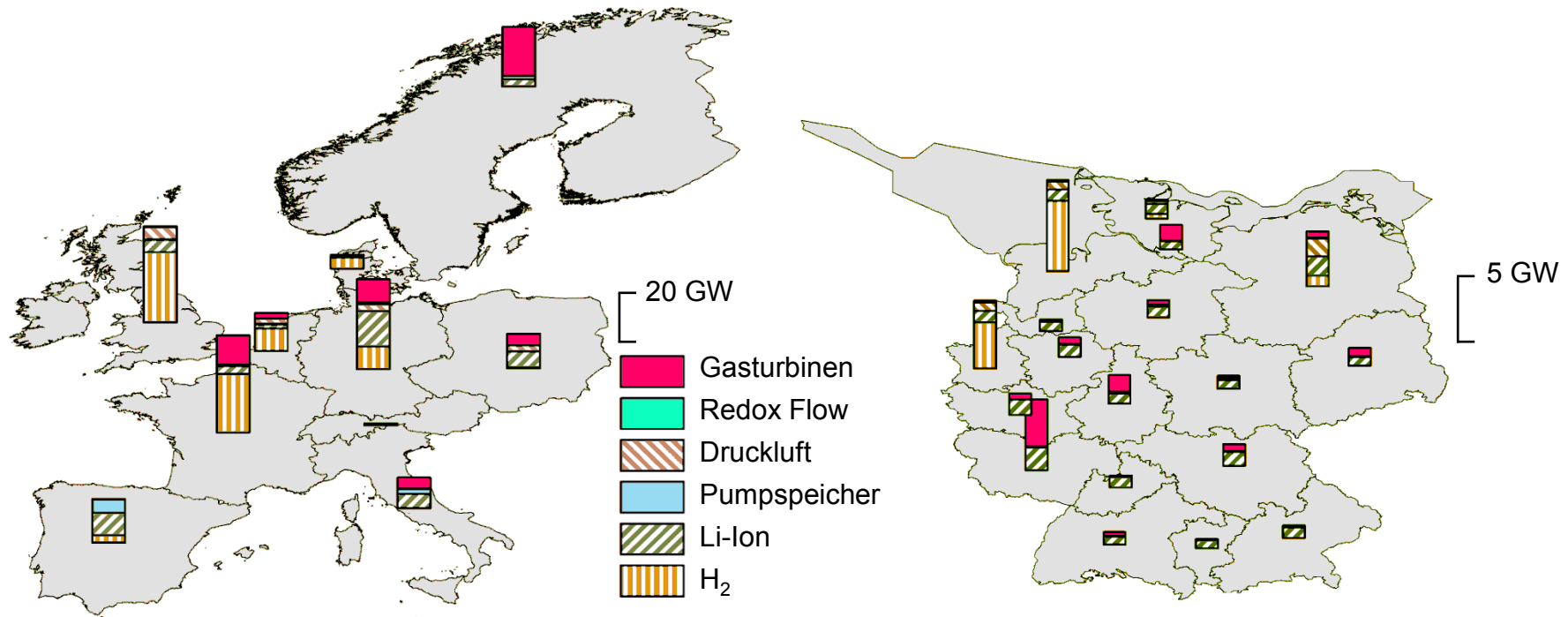
PV: 90 GW



# Zubau Speicherleistung + Gasturbinen

Speicher: 166 GW  
GT: 58 GW

Speicher: 30 GW  
GT: 10 GW

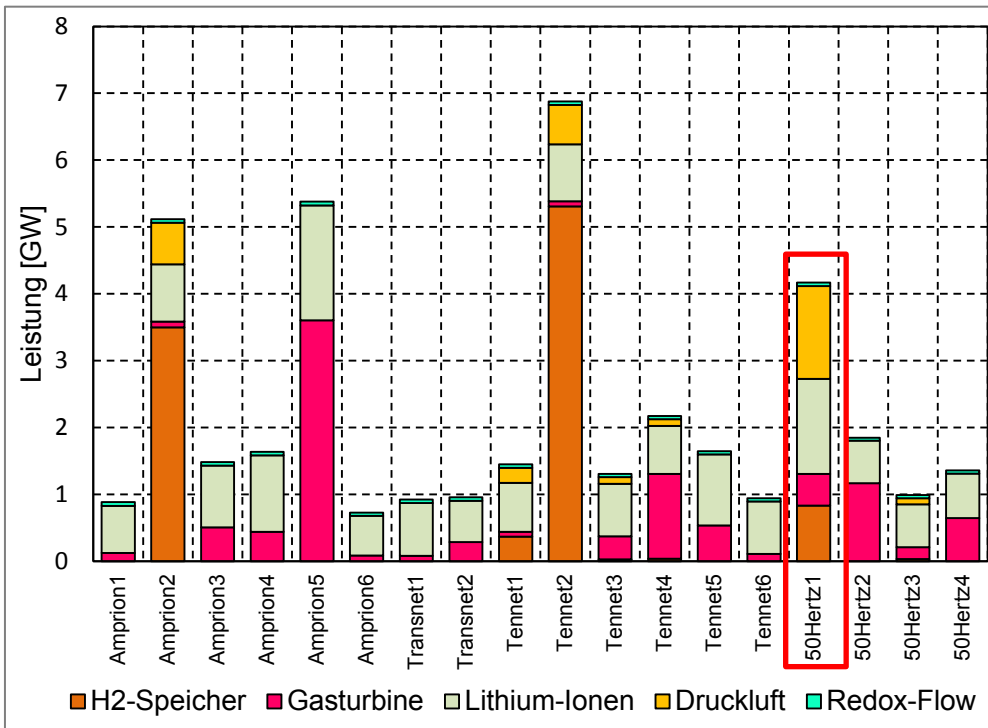


# Referenzszenario 2050

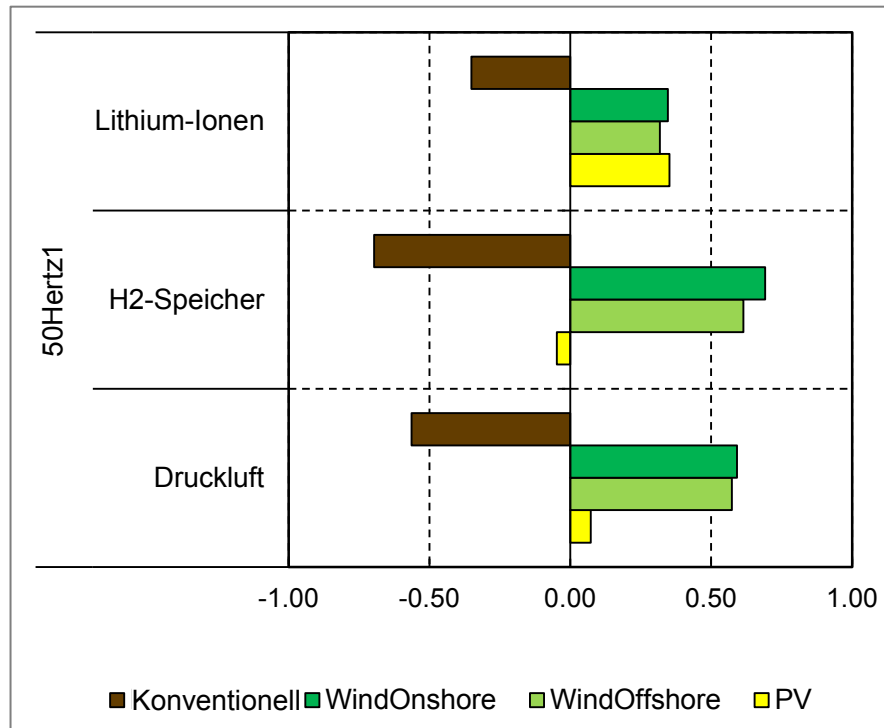
## Speicherzubau/nutzung in 50Hertz1



### Zubau Konverter [GW]



### Korrelation Speicherbeladung u. Erzeugung



- Speicherbeladung korreliert mit der in der Region vorherrschenden erneuerbaren Ressource und antikorreliert mit konventioneller Erzeugung
- Energie-zu-Leistungsverhältnis (E2P): Li-Ion=3h, Druckluft=18h, H2=180h

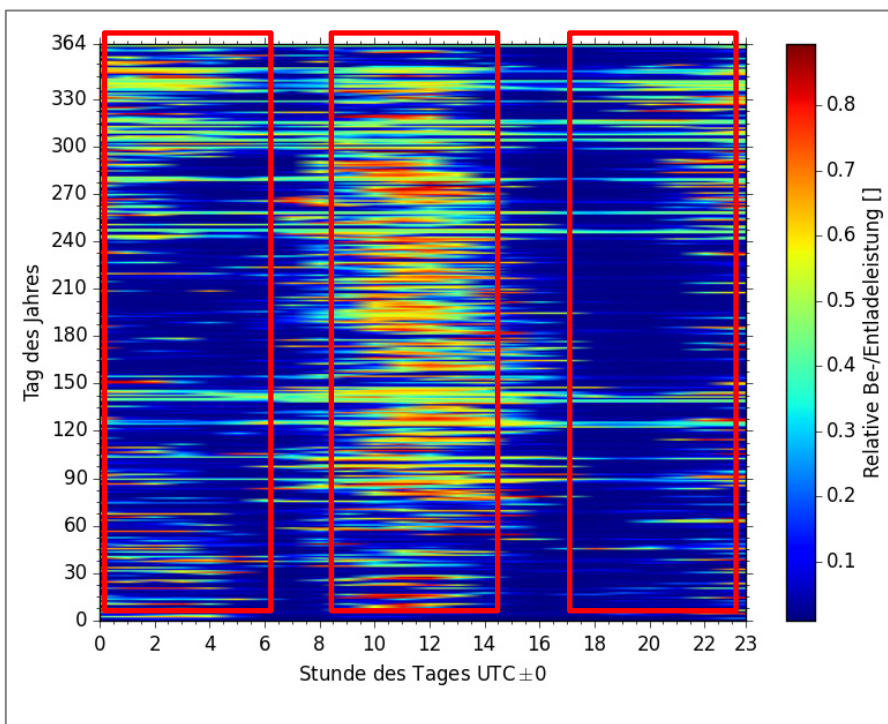


# Speichernutzung in 50Hertz1

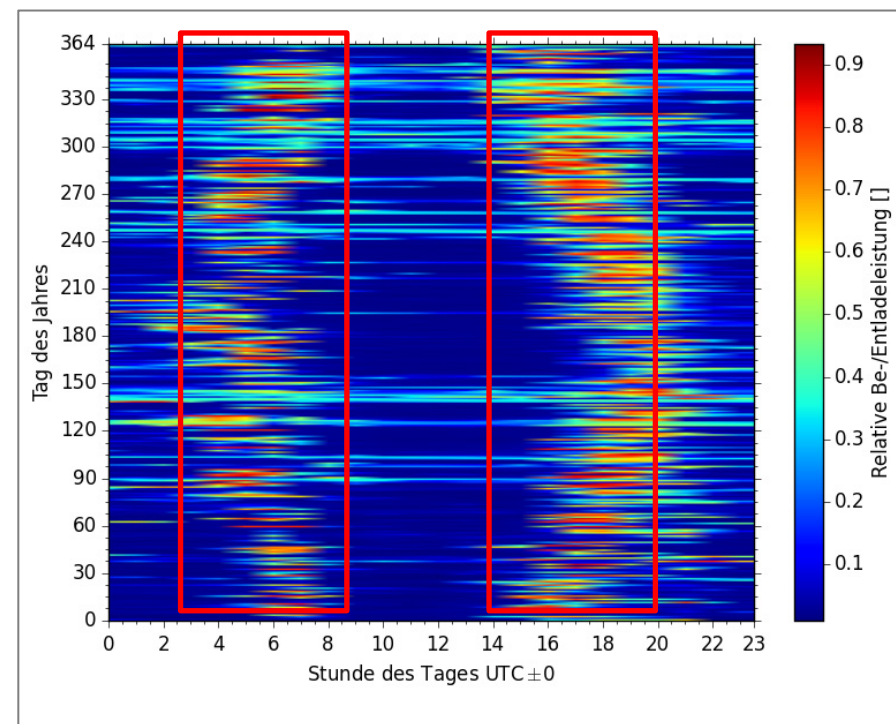


## Lithium-Ionen

### Beladen



### Entladen





# Speicherzubau/nutzung in 50Hertz1



Kurzzeit

Mittelfrist

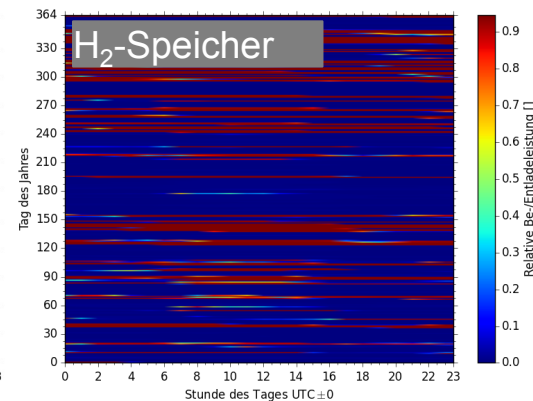
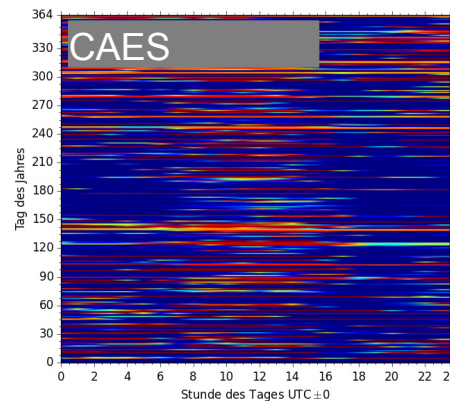
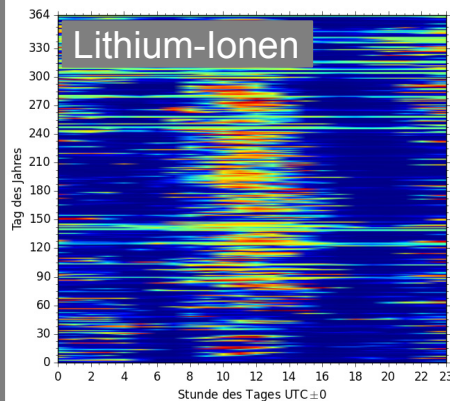
Langzeit

Energie-zu-Leistungsverhältnis (E2P)

2 h

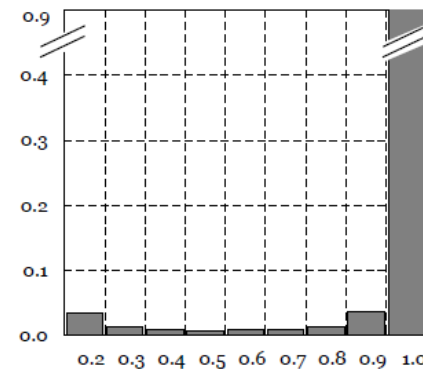
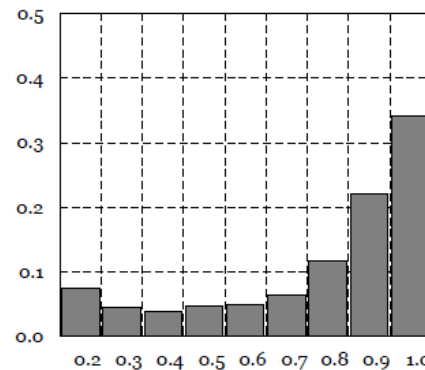
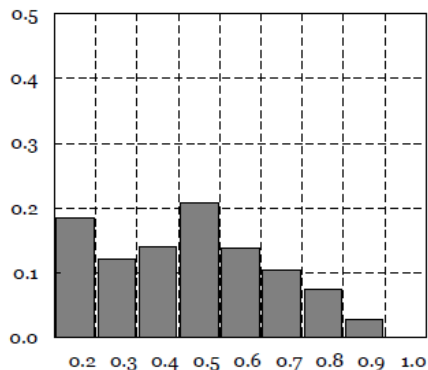
18 h

180 h (~8 d)



Relative Be-/Entladeleistung [-]

Häufigkeitsverteilung der Beladungsintensität



Relative Ladeleistung [-]



# SZENARIENVERGLEICH

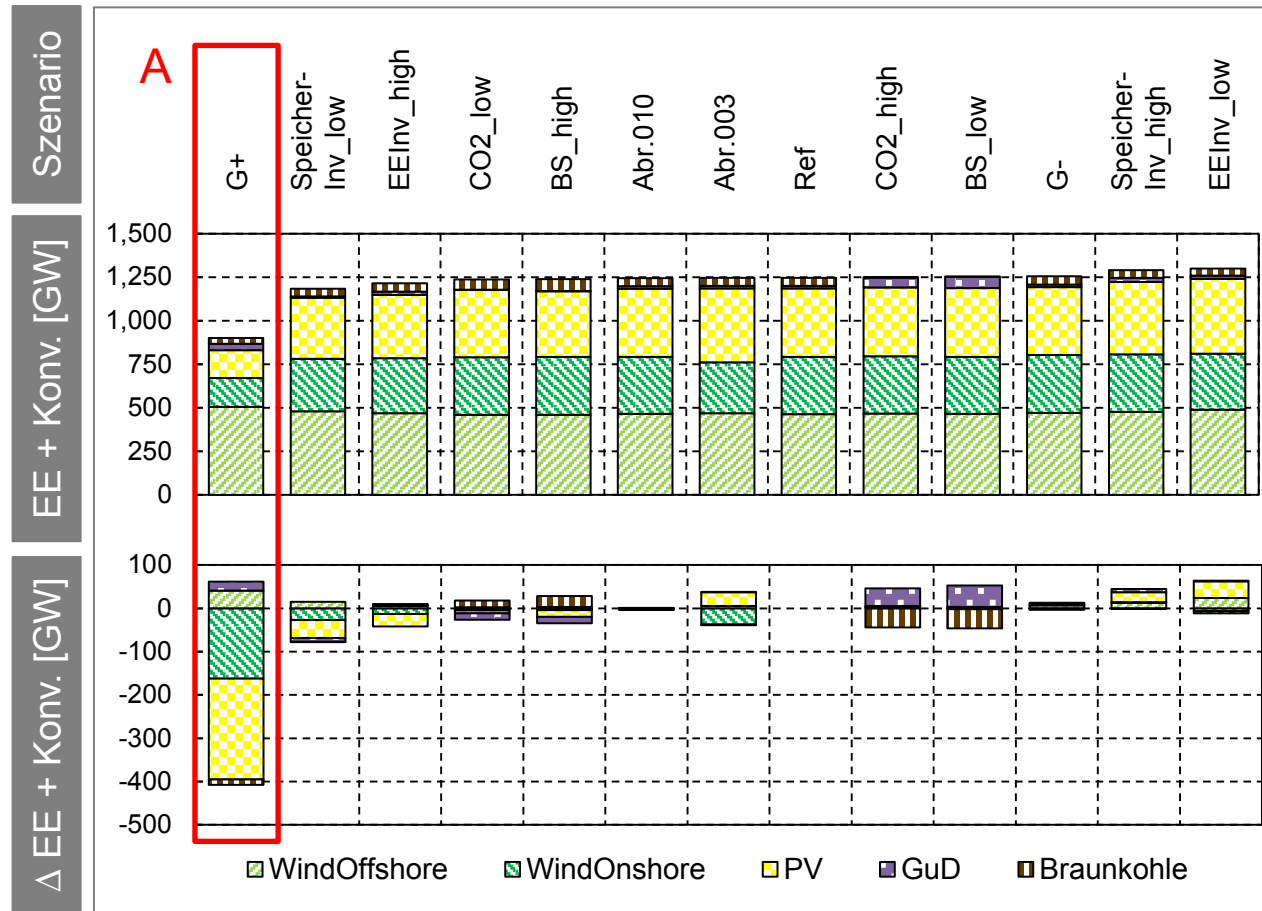
Einfluss auf Speicherzubau und -Nutzung





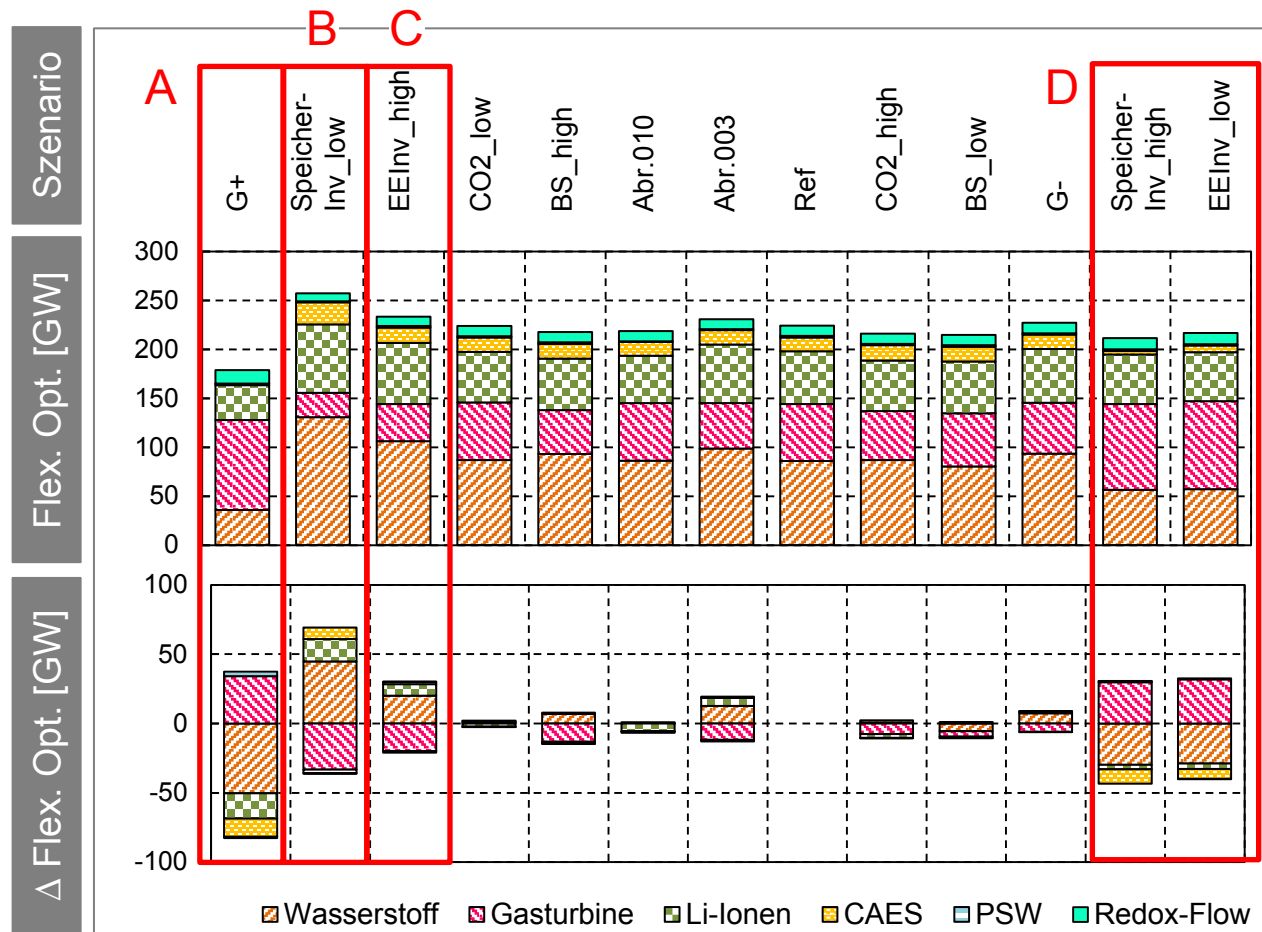
# Szenarienvergleich

Einfluss auf den Zubau der Kapazitäten in Europa



# Szenarienvergleich

Einfluss auf den Zubau der Flexibilitätsoptionen in Europa



# ZUSAMMENFASSUNG

Kernaussagen und Ausblick



# Zusammenfassung & Ausblick

- Speicherleistung und –Kapazität in den untersuchten Szenarien stark sensitiv:
  - EU: 87 – 233GW, 12 – 54TWh
  - DE: 13 – 39GW, 1 – 7TWh
- Die anteilmäßige Zusammensetzung des Speicherzubaues summiert über das Betrachtungsgebiet jedoch in allen Untersuchungsfällen ähnlich
- Für die Integration von EE können Speicher zu großen Teilen durch Netzausbau substituiert werden
- Geringer Einfluss von Brennstoff- und Emissionszertifikats-Preispfaden sowie Abregelungs-begrenzungen auf europäischer Ebene
- Bei knotenscharfer Betrachtung jedoch erkennbare Unterschiede insbesondere in der Struktur des Flexibilitätsportfolios
- Notwendige/mögliche weitere Sensitivitäten:
  - Räumliche und zeitliche Auflösung
  - Lastzeitreihen
  - Weitere Flexibilitätsoptionen ggf. Kopplung zum Wärmemarkt und Transportsektor
  - Modellierungsansatz für konventionelle Kraftwerke (MILP vs. LP)
  - Kostengebundene oder knotenspezifische Abregelungslimits
  - Modellmethodik: myopische oder Ausbaupfad optimierende Ansätze



# Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!

Dipl. Wi.-Ing. Felix Cebulla

[felix.cebulla@dlr.de](mailto:felix.cebulla@dlr.de)

Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt

Institut für Technische Thermodynamik

Systemanalyse und Technikbewertung

A large, curved image of the Earth from space, showing the blue oceans, white clouds, and green landmasses of Europe and Africa. The text "Wissen für Morgen" is overlaid on the right side of the image.

Wissen für Morgen